СОВЕТ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
ЛУГАНСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО
АДМИНИСТРАТИВНОГО РАЙОНА

ЦЕНТРАЛЬНОЕ БЮРО ТЕХНИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ

МЕТОДИКА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБМОТОЧНЫХ ДАННЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПЕРЕХОДЕ С ОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ДРУГОЕ

Луганск 1961

Задача настоящего описания – изложить методику определения обмоточных данных при перемотке обмотки асинхронного двигателя с одного напряжения на другое с сохранением всех его параметров: магнитного потока, полюсности, пускового и максимального моментов, коэффициента мощности (cosφ) и скольжения. В зависимости от подбора сечения обмоточного провода и схемы может измениться только *кпд* двигателя, и то только в очень малых пределах, в ту или другую сторону. Практически изменения *кпд* настолько малы, что ими можно пренебречь и принять *кпд* неизменяемым.

Магнитный поток, как известно, прямо пропорционален напряжению и обратно пропорционален количеству витков в фазе. Поэтому для его сохранения необходимо увеличить количество витков во столько раз, во сколько раз увеличивается напряжение. Например, в случае перемотки обмотки электродвигателя с 380 на 660 *в* количество эффективных проводников в пазу увеличивается в 660/380 = 1,73 раза, что не представляет трудности при подсчете.

При выборе же сечения провода необходимо учесть схему соединения обмотки и возможное увеличение общей изоляции проводников в пазу в связи с увеличением их числа.

Предлагаемая методика определения обмоточных данных всыпной обмотки при переходе с одного напряжения на другое очень проста, но требует полной уверенности в правильности исходных данных. Поэтому нужно пользоваться данными, полученными от завода–изготовителя.

Методика предполагает сохранение толщины пазовой изоляции неизменной (кроме изоляции провода) и имеет следующие этапы расчета:

1. По данным завода–изготовителя или путем размотки впервые ремонтируемого статора устанавливают исходные данные: количество проводников в пазу и схему соединения обмотки статора ("звезда", "треугольник" или "параллели" и их количество).

2. Определяют количество эффективных проводников в пазу, приведенных к последовательной схеме и к звезде по формуле:

$$N_1^1 = \frac{N_1}{a \times b}$$

где $N^1{}_1$ – приведенное количество проводников в пазе, N_1 – количество проводников в пазе, a – количество параллельных ветвей, b – коэффициент для звезды 1, для треугольника 1,73.

3. Определяют приведенное количество проводников в пазу для нового напряжения по формуле:

$$N_2^1 = N_1^1 \times \frac{U_2}{U_1}$$

где $N^1{}_2$ – приведенное количество проводников в пазу (для нового напряжения); U_1 – напряжение на которое был изготовлен электродвигатель; U_2 – напряжение, на которое перематывается электродвигатель.

Примечания. 1. При перемотке электродвигателя с 380 на 660 *в* отношение:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{660}{380} = \sqrt{3} = 1,73$$

формула принимает вид $N^1{}_2$ = 1,73 × $N^1{}_1$. Допустимо отклонение количества проводников ±3% от расчетного.

4. Соответственно принимаемой схемы (количество параллельных ветвей, "звезда" или "треугольник") определяют необходимое число проводников в пазу N_2 по формуле:

$$N_2 = N_2^1 \times a \times b$$

буквенные значения которой нам уже известны. В случае если принята последовательная схема со "звездой": $N_2 = N^1{}_2$.
5. Подсчитывают сумму сечения всех проводников в пазе по формуле:

$$S = (D_1 + B)^2 \times N_1$$

где S – сечение всех проводников в пазе, *мм*^{2}., D_1 – диаметр голого проводника, *мм*., B – двухсторонняя толщина изоляции принятого провода (выбирается по ГОСТ).
6. Определяют диаметр голого провода:

$$D_2 = \sqrt{\frac{S}{N_2}} - B$$

где D_2 – диаметр голого провода, *мм*.; S – сечение, занимаемое в пазу проводниками, *мм*^{2}; N_2 – число проводников в пазу.
7. Сопоставляют произведения $D^2{}_1 \times N_1$ и $D^2{}_2 \times N_2$. Если они равны, то тепловая мощность электродвигателя остается той же. При $D^2{}_1 \times N_1 > D^2{}_2 \times N_2$ тепловая мощность уменьшается приблизительно в

$$\sqrt{\frac{D_1^2 \times N_1}{D_2^2 \times N_2}} \text{ раз}$$

При $D^2{}_1 \times N_1 < D^2{}_2 \times N_2$ тепловая мощность увеличивается приблизительно в

$$\sqrt{\frac{D_2^2 \times N_2}{D_1^2 \times N_1}} \text{ раз}$$

Пример 1. Определить обмоточные данные для перемотки электродвигателя 11 *квт* с напряжения 380 *в* на 660 *в*.

Ход расчета.

1. В пазу 26 проводников, провод марки ПБД диаметром 2,44 *мм*., схема "звезда – две параллели".
2.

$$N_1^1 = \frac{N_1}{a \times b} = \frac{26}{2 \times 1} = 13 \text{ проводников}$$

3.

$$N_2^1 = N_1^1 \times \frac{U_2}{U_1} = 13 \times \frac{660}{380} = 13 \times 1{,}73 = 22{,}5$$

Принимаем $N^1{}_2 = 22$ (уменьшение на 2,2%, 22/22,5 ≈ 0,978).
4. Принимаем схему обмотки "последовательно – звезда" и находим количество проводников в пазу:

$$N_2 = N_2^1 = 22$$

5.

$$S = (D + B)^2 \times N_1 = (2{,}44 + 0{,}33)^2 \times 26 = 199{,}5 \text{ мм}^2.$$

6.

$$D_2 = \sqrt{\frac{S}{N_2}} - B = \sqrt{\frac{199,5}{22}} - 0,33 = 3,01 - 0,33 = 2,68 \text{ мм}.$$

Принимаем D_2 = 2,63 *мм*. – ближайшим меньший диаметр по стандарту, провод марки ПБД.

7.

D^2_1 = 5,96 *мм*^{2}., D^2_2 = 6,9 *мм*^{2}.
$D^2_1 \times N_1$ = 5,96 × 26 = 154,8 *мм*^{2}.
$D^2_2 \times N_2$ = 6,9 × 22 = 152 *мм*^{2}.

Мощность электродвигателя уменьшается в

$$\sqrt{\frac{154,8}{152}} = 1,01 \text{ раз}$$

т. е. на один процент, что практически не имеет никакого значения.

Желательно перед укладкой проводников определить опытным путем возможность использования провода следующего большего стандартного диаметра. В нашем случае необходимо проверить использование провода диаметром 2,83 *мм*. вместо 2,63 *мм*. При положительных результатах $D^2_2 \times N_2$ = 8,8 × 22= 176 *мм*^{2}. Тепловая мощность увеличится при этом приблизительно в

$$\sqrt{\frac{176,0}{154,8}} = 1,067 \text{ раз}$$

т. е. на 6,7%.

Пример 2. Перемотать электродвигатель 2,3 *квт* с напряжения 380 на 660 *в*.

Ход расчета.

1. В пазу 56 проводников, провод марки ПЭЛБО диам. 1,25 *мм*. схема "последовательно – звезда".

2.

$$N_1^1 = \frac{56}{1 \times 1} = 56.$$

3.

$$N_2^1 = 56 \times 1,73 = 97 \text{ проводников}.$$

4. Принимаем схему "последовательно – звезда" и определяем N_2:

$$N_2 = N_2^1 = 97$$

Принимаем для двухслойной обмотки четное число проводников, тогда N_2 = 96.

5.

$$S = (D + B)^2 \times N_1 = (1,25 + 0,21)^2 \times 56 = 119,5 \text{ мм}^2.$$

6.

$$D_2 = \sqrt{\frac{S}{N_2}} - B = \sqrt{\frac{119,5}{96}} - 0,18 = 1,12 - 0,18 = 0,94 \text{ мм}.$$

Принимаем провод марки ПЭЛБО диаметром 0,93 *мм*.

7.

$D^2_1 = 1{,}56$ *мм²*., $D^2_2 = 0{,}86$ *мм²*.
$D^2_1 \times N_1 = 1{,}56 \times 56 = 87{,}5$ *мм²*.
$D^2_2 \times N_2 = 0{,}86 \times 96 = 82{,}5$ *мм²*.

Мощность электродвигателя уменьшается приблизительно в

$$\sqrt{\frac{87{,}5}{82{,}5}} = 1{,}03 \text{ раз}$$

то есть на 3%.

Пример 3.

Перемотать электродвигатель с напряжения 380 на 660 *в*.

Ход расчета.

1. В пазу 30 проводников, провод марки ПСД диам. 2,44 *мм*., схема "четыре параллели – звезда".
2.

$$N_1^1 = \frac{30}{4 \times 1} = 7{,}5$$

3.

$$N_2^1 = 7{,}5 \times 1{,}73 = 13$$

4. Принимаем схему "две параллели – звезда" и определяем N_2:

$$N_2 = N_2^1 \times a \times b = 13 \times 2 = 26 \text{ проводников.}$$

5.

$$S = (D + B)^2 \times N_1 = (2{,}44 + 0{,}33)^2 \times 30 = 230 \text{ мм}^2.$$

6.

$$D_2 = \sqrt{\frac{S}{N_2}} - B = \sqrt{\frac{230}{26}} - 0{,}33 = 2{,}97 - 0{,}33 = 2{,}64 \text{ мм.}$$

Принимаем провод марки ПСД стандарт диаметром 2,63 *мм*.
7.

$D^2_1 = 5{,}96$ *мм²*., $D^2_2 = 6{,}91$ *мм²*.
$D^2_1 \times N_1 = 5{,}96 \times 30 = 178{,}5$ *мм²*.
$D^2_2 \times N_2 = 6{,}91 \times 26 = 180{,}0$ *мм²*.

Мощность электродвигателя увеличится приблизительно в

$$\sqrt{\frac{180{,}0}{175{,}5}} = 1{,}005 \text{ раз}$$

то есть на 0,5%.

Пример 4.

В электродвигателях, имеющих схему "три параллели – звезда", обмотку не перематывают, а меняют схему на "последовательно – треугольник".

Обмотка с жесткими и полужесткими секциями.

Для электродвигателей с полужесткими и жесткими секциями методика перерасчета с одною напряжения на другое остается тот же, но при определении сечения провода необходимо учитывать следующие особенности:
1. В полужестких и жестких секциях применяется провод прямоугольного сечения. Поэтому ширина провода должна оставаться той же. Определяется только размер провода по высоте.
2. Паз обмотки с полужесткими секциями заполнен, как правило, четырьмя сторонами секций, которые присоединяются к схеме попарно. Поэтому при перерасчете необходимо пользоваться количеством проводников по высоте паза, а не всем количеством проводников, находящихся в нем.
3. В жестких секциях принимается во внимание наличие межвитковой изоляции, состоящей из одной прокладки по ширине, равной ширине провода. Материалом для этой прокладки служит электрокартон толщиной 0,1 *мм*., лакоткань или стеклолакоткань толщиной 0,1 – 0,12 *мм*. В полужестких секциях межвитковая изоляция часто отсутствует. Если же она имеется, то при определении высоты провода необходимо ее учесть.

Пример 5.

Требуется перемотать электродвигатель с напряжения 380 на 660 *в*. Полужесткие секции электродвигателя имеют 6 проводников, межвитковые прокладки отсутствуют, провод марки ПБД 2,1 × 3,8 *мм*., схема "две параллели – звезда".

Ход расчета.

1.
$$N_1 = 6 \times 2 = 12 \text{ проводников.}$$
2.
$$N_1^1 = \frac{N_1}{a \times b} = \frac{12}{1 \times 2} = 6 \text{ проводников.}$$
3.
$$N_2^1 = N_1^1 \times \frac{U_2}{U_1} = 6 \times \frac{660}{380} = 10{,}4 \text{ проводников.}$$

Чтобы получить схему "последовательно – звезда", т. е. чтобы $N^1{}_2 = N_2$, необходимо округлить полученное значение до 10 проводников. Но этого делать не рекомендуется, так как магнитный поток увеличивается больше, чем на 3%. В таких случаях принимаются схемы: "последовательно – треугольник" или "две параллели – звезда".
При схеме "последовательно – треугольник":
4.
$$N_1 = N_2^1 \times a \times b = 10{,}4 \times 1 \times 1{,}73 = 18 \text{ проводников в пазу.}$$

Число 18 – целое и четное, значит секции будут все одинаковые и иметь по 9 витков.
5. Провода в вазу занимают по высоте:

$$H = N_1 \times (h + B) = 12 \times (2{,}1 + 0{,}33) = 12 \times 2{,}43 = 29{,}2 \text{ мм.}$$

где H – высота всех проводов в пазу; h – высота голого провода до перемотки; B – толщина двухсторонней изоляции.
6. Высота голого провода для перемотки:
$$h_2 = \frac{H}{N_2} - b = \frac{29{,}9}{18} - 0{,}27 - 1{,}62 - 0{,}27 = 1{,}35 \text{ мм.}$$

Высота провода стандартная.

7. Сопоставляют произведения $h_1 \times U_1 \times a \times b$ и $h_2 \times U_2 \times a \times b$:

$$h_1 \times U_1 \times a \times b = 2{,}1 \times 380 \times 2 \times 1 = 1595$$
$$h_2 \times U_2 \times a \times b = 1{,}35 \times 660 \times 1 \times 1{,}73 = 1540$$

Тепловая мощность уменьшится приблизительно в

$$\sqrt{\frac{1595}{1540}} = 1{,}017 \text{ раз}$$

или на 1,7%. При схеме "две параллели – звезда":
4.

$$N_2 = 10{,}4 \times 2 \times 1 = 20{,}8 \text{ проводников в пазу.}$$

Полученный результат можно округлить до 21 проводника, так как магнитный поток уменьшится менее чем на 1%, но секции будут разные: одна половина будет иметь 10 витков, а другая = 11 витков.
5. H = 29,2 *мм*. (как и в первом случае).
6.

$$h_2 = \frac{29{,}2}{21} - 0{,}27 = 1{,}39 - 0{,}27 = 1{,}12 \text{ мм.}$$

Принимаем стандартную высоту провода 1,08 *мм*.
7. Сопоставляем:

$$\sqrt{\frac{h_1 \times U_1 \times a \times b}{h_2 \times U_2 \times a \times b}} = \sqrt{\frac{2{,}1 \times 380 \times 2 \times 1}{1{,}08 \times 660 \times 2 \times 1}} = \sqrt{\frac{1595}{1425}} = 1{,}06$$

Тепловая мощность уменьшится приблизительно в 1,06 раза, или на 6%. Таким образом, первый случай более приемлем, чем второй. Следовательно, принимаем следующие обмоточные данные: количество витков в секции 9, провод марки ПБД, сечение 1,35 × 3,8 *мм*., схема "последовательно – треугольник".

Примечание. В полужестких и жестких обмотках применение секций с разным количеством проводников возможно только при следующих условиях:

а) при нечетном q шаг секции тоже должен быть нечетным. Например q = 3, y = 7 (1 – 8) или y = 9 (1 – 10). где q – количество пазов на полюсе к фазе, y – шаг обмотки по пазам;

б) при q четном шаг секции может быть четным или нечетным. Но при y нечетном секции чередуются, укладываются в пазы через одну, а при у четном секции должны чередоваться через две, т. е. два раза подряд имеют секции с одним количеством витков, а следующие два паза — с другим количеством витков.

Пример 6. Данные те же, что в примере 5, но схема "четыре параллели – звезда".

Ход расчета.

1. N_1 = 6 × 2 = 12 проводников.
2.

$$N_1^1 = \frac{12}{4} = 3 \text{ проводника.}$$

3. N^1 = 3 × 1,73 = 5,19 проводников.

Так как округление нежелательно (магнитный поток уменьшится почти на 4%), то принимаем схему "последовательно – треугольник".
4. N_2 = 5,19 × 1,73 = 9 проводников. Секции будут разные: одни в 4 витка, другие – в 5.
5. H = 29,2 *мм*. (как и в примере 5).
6.

$$H_2 = \frac{29,2}{9} - 0,33 = 3,24 - 0,33 = 2,91 \text{ мм.}$$

Принимаем ближайшую стандартную высоту провода 2,83 *мм*.
7. Сопоставляем:

$$\sqrt{\frac{2,1 \times 380 \times 4 \times 1}{1,83 \times 660 \times 1 \times 1,73}} = \sqrt{\frac{3190}{3225}} = 0,995$$

Тепловая мощность увеличится приблизительно на 0,5%. Этот вариант с разными секциями возможно нельзя будет применить (см. примечание к примеру 5).
Проверим возможность перемотки по схеме "звезда с параллельными ветвями". В "две параллели": N_2 = 5,19 × 2 = 10,38 проводников. Это не подходит, так как дает уменьшение потока при округлении более чем на 3%. Необходимо взять a = 4.
4. N_2 = 5,19 × 4 = 20,78. Округляя число проводников до 21 снова получаем разное число проводников в секциях. Остается одно – увеличить магнитный поток и округлить 5,19 до 5,0 при схеме "две параллели – звезда".
4. $N_2 = N^1_2 \times a \times b$ = 5 × 2 × 1 = 10 проводников.
5. H = 29,2 *мм*. (как и в примере 5).
6.

$$h_2 = \frac{29,2}{10} - 0,33 = 2.92 - 0,33 = 2,59 \text{ мм.}$$

Принимаем стандартную высоту 2,63 мм.
7. Сопоставляем:

$$\sqrt{\frac{2,1 \times 380 \times 4 \times 1}{2,63 \times 660 \times 2 \times 1}} = \sqrt{\frac{3190}{3480}} = 0,945$$

При ненасыщенном железе можно ожидать прирост тепловой мощности приблизительно на 5,5%. В случае наличия межвитковых прокладок расчет высоты провода следует проводить, как указано в примере 7.

Пример 7. Требуется перемотать электродвигатель с жесткими секциями с напряжения 380 на 660 *в*. Секции электродвигателя имеют 7 проводников, провод марки ПСД, сечение 1,95 × 5,9 *мм*., схема "две параллели – звезда".

Ход расчета.

1. N_1 = 7 × 2 = 14 проводников.
2.

$$N_1^1 = \frac{14}{2 \times 1} = 7 \text{ проводников.}$$

3. N^1_2 = 7 × 1,73 = 12,1 проводников. Принимаем схему "последовательно – звезда".

4. $N_2 = N^1_2$ = 12 проводников.

5. $H = N_1 \times (h_1 + B) = 14 \times (1{,}95 + 0{,}27) = 14 \times 2{,}22 = 31{,}1$ *мм*.
Секция имеет 7 проводников, и значит 6 прокладок, а всего прокладок 12 по 0,12 *мм*. Следовательно, 12 × 0,12 = 1,44 *мм*. Прибавим полученное значение к H, 31,1 + 1,44 = 32,54 *мм*.
6. При новой обмотке секция будет иметь 6 проводников, значит, 5 прокладок, а всего прокладок 10 по 0,12 *мм*. Следовательно, 10 × 0,12 = 1,2 *мм*. Вычтем полученное значение из 32,54 *мм*: 32,54 – 1,2 = 31,34 *мм*.

$$h_2 = \frac{31{,}34}{12} - 0{,}33 = 2{,}61 - 0{,}33 = 2{,}28 \text{ мм}.$$

Принимаем стандартную высоту 2,26 *мм*.
7. Сопоставляем:

$$\sqrt{\frac{h_1 \times U_1 \times a \times b}{h_2 \times U_2 \times a \times b}} = \sqrt{\frac{1{,}95 \times 380 \times 2 \times 1}{2{,}26 \times 660 \times 1 \times 1}} = \sqrt{\frac{1480}{1490}} \approx 1$$

Вес остается неизменным при следующих обмоточных данных: количество витков в секции 6, провод марки ПСД, сечение 2,26 × 5,9 *мм*., схема "последовательно – звезда".

Центральное бюро технической информации Луганского совнархоза
Луганск, Красная площадь, 4
Составитель И. Ю. Церебеж
Редактор Б. М. Пипко
Технический редактор Н. М. Алексеев
БВ 03496. Подписано к печати 26. IX. 1961 г.
Зак. №5639. Тираж 300. Бесплатно.
Типография ЦБТИ Луганского совнархоза.
Луганск, 3–я линия, 29